

Национальный исследовательский университет

Московский Энергетический Институт

Кафедра РТС

Лабораторная работа №4

Моделирование следящей системы

Выполнил: Хватов М.М.

Вариант: 14

Группа: ЭР-15-16

Проверил: Корогодин И.В.

Москва

2020

Цели работы:

- 1) Применить метод информационного параметра при моделировании радиотехнического устройства;
- 2) Получить опыт моделирования следящей системы;
- 3) Развить навыки обработки данных статистических экспериментов

1) Постановка задачи

Требуется:

- 1) Построить график зависимости динамической ошибки оценивания от полосы следящей системы.
- 2) Построить график зависимости флуктуационной ошибки оценивания от полосы следящей системы.
- 3) Построить график общей среднеквадратической ошибки оценивания частоты от полосы следящей системы.
- 4) Определить шумовую полосу следящей системы, при которой достигается минимум среднеквадратической ошибки оценивания частоты.

Допущения:

- 1) Моделирование будем производить в линейном приближении работы следящей системы по методу информационного параметра.
- 2) Процесс частоты развивается в соответствии с моделью второго порядка как интеграл от винеровского случайного процесса.

2) Математические модели

Математическая модель процесса частоты:

$$\omega_k = \omega_{k-1} + v_{k-1}T$$

$$v_k = v_{k-1} + \xi_k T$$

$$\xi_k \sim N(0, D_\xi)$$

$$M[\xi_i \xi_j] = D_\xi \delta_{ij},$$

где в соответствии с вариантом задания $D_\xi = 13$. Начальные значения:

$$\omega_0 = 0, v_0 = 0.$$

Выражения можно записать в векторном виде

$$\mathbf{x}_k = \mathbf{F} \mathbf{x}_{k-1} + \mathbf{G} \xi_k,$$

$$\mathbf{x}_k = \begin{bmatrix} \omega_k \\ v_k \end{bmatrix}, \mathbf{F} = \begin{bmatrix} 1 & T \\ 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & T \end{bmatrix}, \xi_k = \begin{bmatrix} 0 \\ \xi_k \end{bmatrix}.$$

Алгоритм работы следящей системы относительно информационного параметра:

$$\hat{\omega}_k = \tilde{\omega}_k + K_1(\omega_{meas,k} - \tilde{\omega}_k),$$

$$\hat{v}_k = \tilde{v}_k + K_2(\omega_{meas,k} - \tilde{\omega}_k),$$

$$\tilde{\omega}_k = \hat{\omega}_{k-1} + \hat{v}_{k-1}T, \tilde{v}_k = \hat{v}_{k-1}$$

инициализационные значения

$$\hat{\omega}_0 = 0, \hat{v}_0 = 0$$

коэффициенты определяются шумовой полосой системы Δf

$$K_1 = \frac{8}{3} \Delta f T,$$

$$K_2 = \frac{32}{9} \Delta f^2 T,$$

$\omega_{meas,k}$ – поступившие на k-м шаге измерения частоты.

Алгоритм может быть представлен в векторном виде

$$\hat{x}_k = \begin{bmatrix} \hat{\omega}_k \\ \hat{v}_k \end{bmatrix} = \tilde{x}_k + K(\omega_{meas,k} - \tilde{\omega}_k),$$

$$\hat{x}_k = \begin{bmatrix} \hat{\omega}_k \\ \hat{v}_k \end{bmatrix} = F \tilde{x}_{k-1}, K = \begin{bmatrix} K_1 \\ K_2 \end{bmatrix}.$$

3) Тестовое воздействие

Условия:

Исключим формирующий шум наблюдений. Установим полосу СС равной 2 Гц. Установим начальную ошибку слежения на уровне нескольких Гц.

Ожидаемый результат:

Следящая система произведет подстройку частоты, ошибка в установившемся режиме будет равняться нулю (ввиду величины астатизма). Характерное время переходного процесса – несколько обратных значений полосы, т.е. для 2 Гц около 1-2 секунд.

4) Проверка модели в тестовых условиях

Составлена программа компьютерной модели (Приложение 1)

В качестве тестовых условий сократили время моделирования до 5 секунд.

Приравняли нулю дисперсии формирующего шума и шума наблюдений.

Начальное значение оцениваемого процесса частоты установили на 10 рад/с больше, чем начальное значение частоты в оценке вектора состояния.

Получили графики:

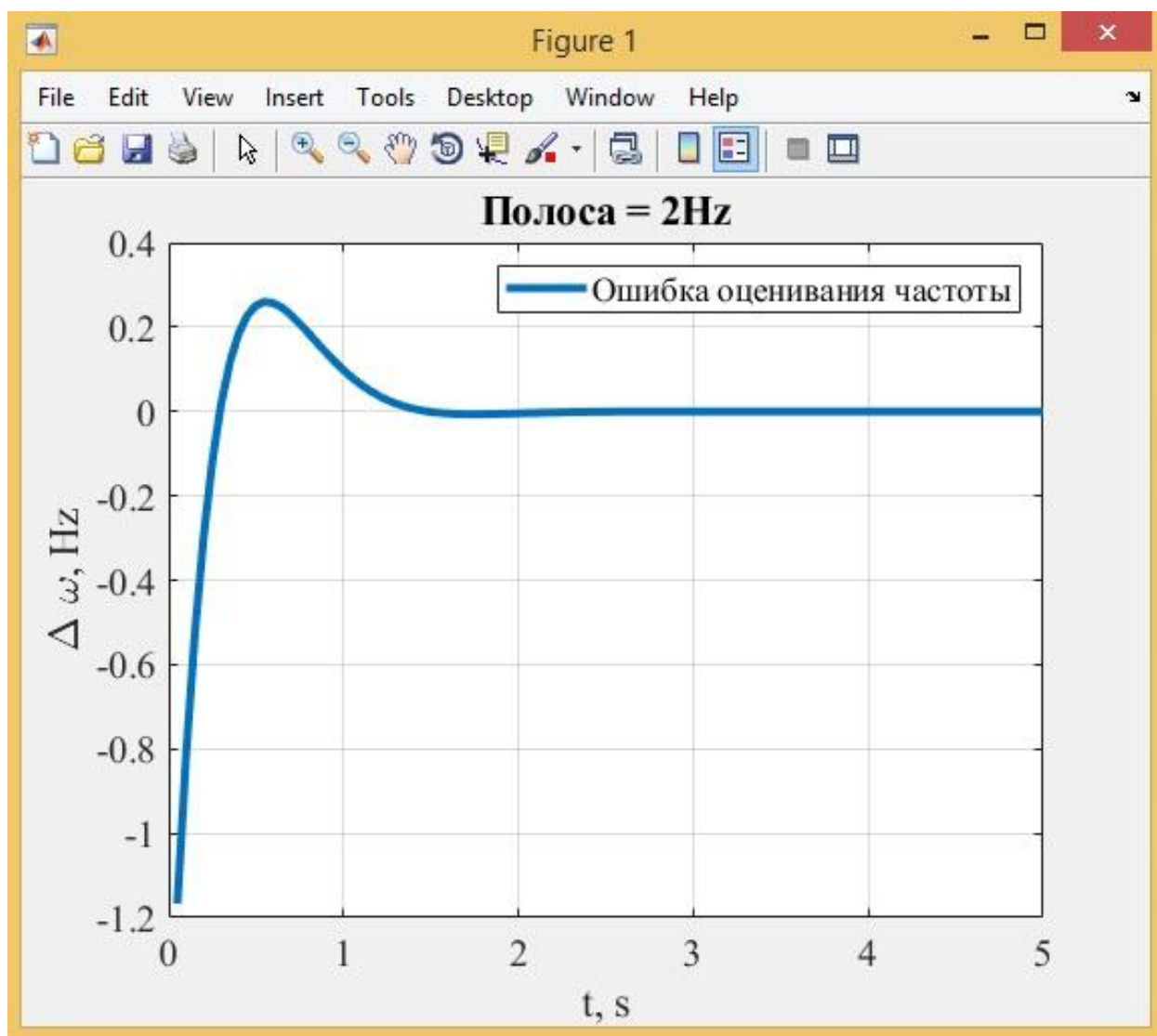


Рисунок 1 – Процесс частоты (синяя) и его оценка(красная)

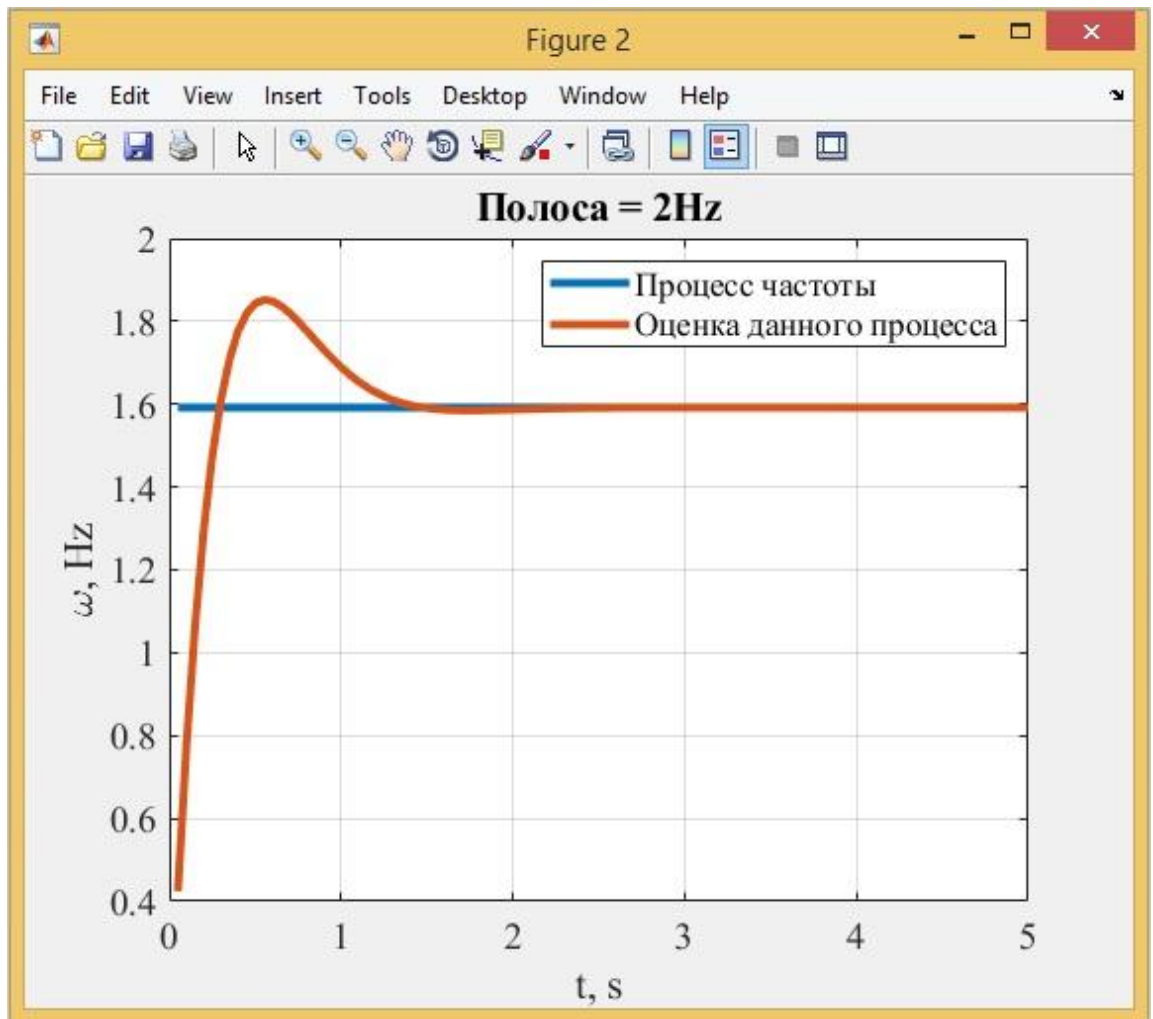


Рисунок 2 – Ошибка оценивания частоты

На рисунке 1 изображен график истинного процесса частоты и оценки частоты, на рисунке 2 - график ошибки оценивания частоты.

Система слежения успешно отрабатывает начальную ошибку. Характерное время переходного процесса – около 1 с, что соответствует ожидаемому при полосе СС 2 Гц.

5) Результаты моделирования

- После завершения тестирования была выполнена основная программа моделирования.

- Для увеличения объема статистики время одного эксперимента увеличено до 60 минут.

- Начальные значения векторов состояния оцениваемого процесса и фильтра приравнены друг другу.

На первом этапе построен график динамической ошибки в зависимости от полосы СС. Для этого дисперсия шумов приравнена нулю, а дисперсия формирующего шума установлена номинальной.

На втором этапе построен график флуктуационной ошибки. Для этого дисперсия формирующих шумов уменьшена до нуля (частота постоянна), а дисперсия шумов наблюдений выставлена в соответствии с вариантом задания

На третьем этапе построен график зависимости общей среднеквадратической ошибки оценивания при значениях дисперсиях шумов.

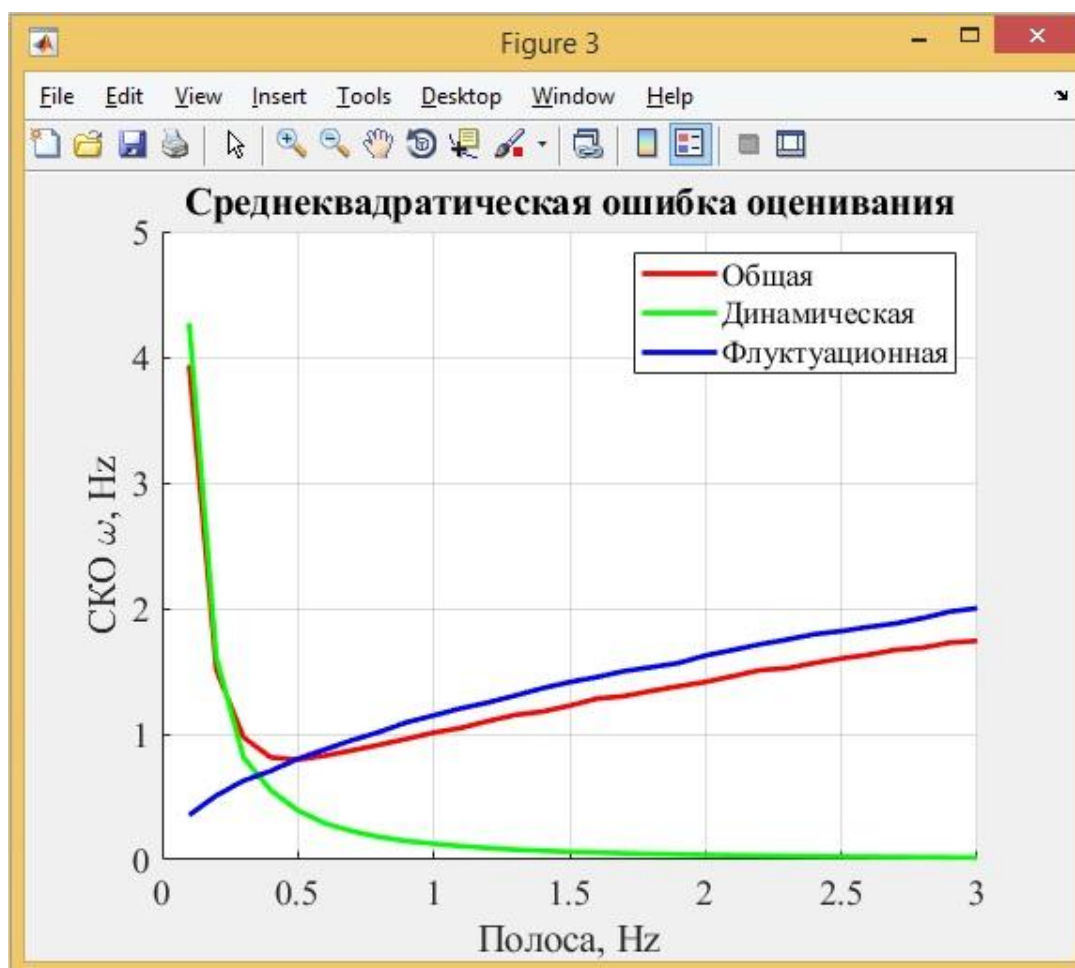


Рисунок 3 – Среднеквадратическая ошибка оценивания

6) Анализ результатов моделирования

Поставленные цели моделирования достигнуты:

- Найдены графики динамической, флуктуационной и общей среднеквадратической ошибки слежения в зависимости от полосы СС;
- Определена полоса СС, при которой достигается минимум среднеквадратической ошибки слежения; она составила 0.5 Гц.

Результаты моделирования не противоречат ожидаемым результатам. Проведение новых итераций моделирования и уточнение модели не требуется.

Приложение 1

model.m

```
clear all; clc; close all;
```

```
global S;
```

```
S = struct('dw',0,'wk',0, 'RMS_Omega',0, 'i',0);
```

```
Tmax = 60*60;
```

```
tk = 0.05:0.05:Tmax;
```

```
T = tk(length(tk))-tk(length(tk)-1);
```

```
F = [1 T;
```

```
0 1]
```

```
G= [0 0;
```

```
0 T];
```

```
Band = 0.1:0.1:3; % 0.05: 0.05 :3 ;%Полоса СС
```

```
df= Band;
```

```
df_stop=2;
```

```
K1 = (8/3)*df*T; % Коэффициенты СС
```

```
K2 = (32/9)*(df.^2)*T;
```

```
Dksi_ist = 8; % Дисперсия формирующего шума
```

```
Dn_ist= 12; % Дисперсия шумов наблюдений
```



```

Dksi =Dksi_ist*1; %8
Dn = Dn_ist*0;%11

S = math( Dksi, Dn, F,G, K1,K2, df, df_stop, tk);
wk = S.wk;
dw= S.dw;
RMS_Omega = S.RMS_Omega;

figure(1);
plot(t, ErrOmega/2/pi, 'LineWidth', 3);
grid on;
set(0,'DefaultAxesFontSize',14,'DefaultAxesFontName','Times New Roman');
set(0,'DefaultTextFontSize',14,'DefaultTextFontName','Times New Roman');
xlabel('t, s'); ylabel('\Delta \omega, Hz');
title(['Полоса = ' num2str(Band(i)) 'Hz']);
legend('Ошибка оценивания частоты');

    figure(2);
    plot(tk, [wk; wk + dw]/2/pi);
    xlabel('t, s'); ylabel('\omega, Hz');
    title(['Bandwidth = ' num2str(Band(S.i)) 'Hz']);
    grid on;

figure(3)
hold on
plot(df, S.RMS_Omega, 'g');

Dksi = Dksi_ist*0;
Dn = Dn_ist*1;
S = math( Dksi, Dn, F,G, K1,K2, df, df_stop, tk);
plot(df, S.RMS_Omega, 'r ');

Dksi = Dksi_ist*1;
Dn = Dn_ist*1;
S = math( Dksi, Dn, F,G, K1,K2, df, df_stop, tk);
plot(df, S.RMS_Omega, 'b ');
grid on;
xlabel('Bandwidth, Hz'); ylabel('RMS \omega, Hz');

```

```

function S = math( Dksi, Dn, F,G, K1,K2, df, df_stop, tk)
for i = 1:length(df)
    xk = [0 0]'; % Начальные условия

    xest = [0 0]';
    hextr = F*xest;
    for k=1:length(tk)
        ksi = sqrt(Dksi)*randn(1,1); % Реализация формирующего шума
        xk = F*xk + G*[0;ksi]; % Развитие оцениваемого процесса
        wk(k) = xk(1); % Истинное значение
        nk = sqrt(Dn)*randn(1,1); % Реализация шумов наблюдений

        wmeas = wk(k) + nk; % Наблюдения
        xest = hextr + [K1(i);K2(i)] * (wmeas - hextr(1)); % Этап оценивания
        hextr = F*xest; % Этап экстраполяции
        dw (k) = xest(1)-wk(k);% Ошибка оценивания
    end
    if df(i) == df_stop
        S.dw = dw;
        S.wk = wk;
    end
    RMS_Omega(i) = sqrt ( mean (dw.^2) );
end
S.RMS_Omega = RMS_Omega;
S.i = i;
end
xlabel('Полоса, Hz'); ylabel('СКО \omega, Hz');

set(0,'DefaultAxesFontSize',14,'DefaultAxesFontName','Times New Roman');
set(0,'DefaultTextFontSize',14,'DefaultTextFontName','Times New Roman');
title('Среднеквадратическая ошибка оценивания');
legend('Общая','Динамическая','Флуктуационная');
hold off

```